



**Europäisches  
Patentamt**

**European  
Patent Office**

**Office européen  
des brevets**

10,650,452

**Bescheinigung**

**Certificate**

**Attestation**

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

**Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°**

02425540.8

Der Präsident des Europäischen Patentamts:  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

**R C van Dijk**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



Anmeldung Nr:  
Application no.: 02425540.8  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 30.08.02  
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

STMicroelectronics S.r.l.  
Via C. Olivetti, 2  
20041 Agrate Brianza (Milano)  
ITALIE  
Nokia Corporation  
Keilalahdentie 4  
00045 Espoo  
FINLANDE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)  
revendiquée(s)  
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

G01P15/00

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of  
filling/Etats contractants désignés lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

THIS PAGE BLANK (USPTO)

## SENSORE INERZIALE CON SOGLIA DI ROTTURA

La presente invenzione si riferisce ad un sensore  
inerziale con soglia di rottura.

5 Come è noto, le moderne tecniche di  
microlavorazione dei semiconduttori possono essere  
vantaggiosamente sfruttate per realizzare vari sensori  
estremamente sensibili e precisi, oltre che di ingombro  
ridotto. I cosiddetti sensori micro-elettro-meccanici,  
10 o sensori MEMS (dall'inglese "Micro-Electro-Mechanical  
System"), sono sensori integrabili in una piastrina  
semiconduttrice e sono adatti a rilevare varie  
grandezze. In particolare, sono noti accelerometri MEMS  
a sbilanciamento capacitivo sia lineari, sia  
15 rotazionali. In sintesi, tali accelerometri sono  
normalmente provvisti di un corpo fisso e di una massa  
mobile, entrambi conduttori, accoppiati  
capacitivamente. Inoltre, la capacità presente fra il  
corpo fisso e la massa mobile è variabile e il suo  
20 valore dipende dalla posizione relativa della massa  
mobile e del corpo fisso. Quando l'accelerometro è  
sottoposto a una sollecitazione, la massa mobile si  
sposta rispetto al corpo fisso e causa una variazione  
della capacità di accoppiamento, che viene rilevata  
25 mediante un apposito circuito di lettura.

Come accennato in precedenza, gli accelerometri MEMS sono estremamente sensibili e precisi; tuttavia, essi non sono adatti a essere utilizzati in molte applicazioni, principalmente perché sono complessi da realizzare e il loro costo è molto elevato. Da un lato, infatti, i processi di fabbricazione richiedono l'esecuzione di numerose fasi non standard e/o l'impiego di substrati non standard (ad esempio, substrati SOI); dall'altro lato, occorre normalmente realizzare circuiti di lettura retroazionati basati su amplificatori di carica differenziali, il cui progetto comporta spesso delle difficoltà.

Inoltre, in molti casi non è richiesta la precisione dei sensori MEMS capacitivi e, anzi, non è neppure necessario disporre di una misura istantanea del valore di accelerazione. Al contrario, spesso occorre semplicemente verificare se un dispositivo incorporante l'accelerometro ha subito accelerazioni superiori a una soglia prefissata, normalmente a causa di un urto. Ad esempio, la maggior parte dei dispositivi elettronici di uso comune, quali i telefoni cellulari, sono protetti da una garanzia, che decade se eventuali malfunzionamenti sono dovuti non a difetti di fabbricazione, ma a un urto conseguente a una caduta o comunque a un uso non conforme alle istruzioni. A meno

che non si riscontrino danni visibili, come segni sull'involturo o la rottura di alcune parti, è praticamente impossibile dimostrare che il dispositivo ha subito un trauma che invalida la garanzia. D'altro 5 canto, i dispositivi portatili, come appunto i telefoni cellulari, sono particolarmente esposti a cadute e conseguenti rotture, proprio per come vengono utilizzati.

Eventi di questo tipo potrebbero essere facilmente 10 rilevati da un sensore inerziale, che sia in grado di registrare accelerazioni superiori a una prefissata soglia. Tuttavia, l'impiego di accelerometri MEMS di tipo capacitivo in questi casi comporterebbe evidentemente costi eccessivi. Sarebbe quindi 15 desiderabile disporre di sensori realizzabili con tecniche di microlavorazione dei semiconduttori, quindi aventi ingombro paragonabile a quello dei sensori MEMS capacitivi, ma più semplici per quanto riguarda sia la struttura del sensore, sia il circuito di lettura. 20 Inoltre, anche i processi di fabbricazione dovrebbero essere nell'insieme semplici e poco costosi.

Scopo della presente invenzione è realizzare un sensore inerziale con soglia di rottura, che permetta di superare i problemi descritti.

25 Secondo la presente invenzione viene realizzato un

sensore inerziale con soglia di rottura, come definito nella rivendicazione 1.

Per una migliore comprensione dell'invenzione, ne vengono ora descritte alcune forme di realizzazione, a 5 puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- le figure 1 e 2 sono sezioni trasversali attraverso una fetta semiconduttrice in successive fasi di fabbricazione;
- 10 - la figura 3 è una vista in pianta dall'alto della fetta di figura 2;
- la figura 4 mostra un particolare ingrandito della figura 3;
- 15 - la figura 5 è una sezione trasversale della fetta di figura 3 in una successiva fase di fabbricazione;
- la figura 6 è una vista in pianta dall'alto della fetta di figura 5;
- 20 - le figure 7 e 8 sono sezioni trasversali della fetta di figura 6 in una successiva fase di fabbricazione, prese lungo i piani di traccia VII-VII e, rispettivamente, VIII-VIII di figura 6;
- la figura 9 è una vista in pianta dall'alto della fetta di figura 7, incorporante un sensore 25 inerziale realizzato in una prima forma di attuazione

della presente invenzione;

- le figure 10 e 11 sono sezioni trasversali della fetta di figura 9, prese lungo i piani di traccia X-X e, rispettivamente, XI-XI di figura 9;

5 - la figure 12 e 13 sono sezioni trasversali attraverso una fetta composita e, rispettivamente, un "die" realizzati a partire dalla fetta di figura 9;

10 - la figura 14 è una vista schematica di tre quarti dall'alto di un dispositivo incorporante il "die" di figura 13;

- la figura 15 mostra schematicamente un sensore inerziale del tipo delle figure 9-13 in configurazione operativa;

15 - la figura 16 è un particolare di un sensore inerziale realizzato secondo una variante della prima forma di attuazione della presente invenzione;

20 - la figura 17 è una vista in pianta dall'alto di un sensore inerziale realizzato secondo un'ulteriore variante della prima forma di attuazione della presente invenzione;

- la figura 18 è una sezione trasversale del sensore di figura 17;

25 - la figura 19 è una vista in pianta dall'alto di un sensore inerziale realizzato in una seconda forma di attuazione della presente invenzione;

- la figura 20 mostra un particolare ingrandito della figura 19;
- la figura 21 è una vista in pianta dall'alto di un sensore inerziale realizzato in una terza forma di attuazione della presente invenzione;
- la figura 22 mostra un particolare ingrandito della figura 21;
- la figura 23 mostra schematicamente due sensori inerziali del tipo di figura 21 in configurazione operativa;
- la figura 24 è una sezione trasversale attraverso una fetta semiconduttrice in una fase iniziale di fabbricazione di un sensore inerziale;
- la figura 25 è una vista in pianta dall'alto della fetta di figura 24;
- la figura 26 mostra la fetta di figura 24 in una successiva fase di fabbricazione;
- la figura 27 è una vista in pianta dall'alto della fetta di figura 26 in una successiva fase di fabbricazione, in cui è realizzato un sensore inerziale secondo una quarta forma di attuazione del presente procedimento;
- la figura 28 è una sezione trasversale attraverso la fetta di figura 27, presa secondo il piano di traccia XXVIII-XXVIII di figura 27;

- la figura 29 è una vista in pianta particolare di un sensore inerziale realizzato secondo una quinta forma di attuazione della presente invenzione

5 - la figura 30 è una vista laterale del particolare di figura 29; e

- la figura 31 è una vista laterale del particolare di figura 29, realizzato secondo una variante della quinta forma di attuazione della presente invenzione.

10 Con riferimento alle figure 1-13, una fetta 1 di materiale semiconduttore, ad esempio silicio monocristallino, comprende un substrato 2, sul quale viene cresciuto termicamente un sottile strato di ossido di pad 3, ad esempio spesso 2,5  $\mu\text{m}$ . Uno strato 15 conduttivo 5 di polisilicio, avente ad esempio spessore compreso fra 400 e 800 nm e droggaggio pari a  $10^{19}$  atomi/cm<sup>3</sup>, viene poi deposto al di sopra dello strato di ossido di pad 3 e viene definito mediante un processo fotolitografico. Vengono così realizzati due campioni 6 20 a T, aventi rispettivi piedi 6a, reciprocamente allineati ed estendentisi l'uno verso l'altro, e rispettivi bracci 6b fra loro paralleli (figure 2-4). I piedi 6a e i bracci 6b di ciascun campione 6 sono rivolti lungo direzioni individuate da un primo asse X 25 e, rispettivamente, da un secondo asse Y ortogonali (un

terzo asse Z, ortogonale al primo e al secondo asse X, Y, è mostrato in figura 2). Inoltre, a rispettive estremità dei bracci 6b di entrambi i campioni 6 sono realizzate piazzole di ancoraggio 8, di forma 5 sostanzialmente rettangolare e aventi larghezza maggiore rispetto ai bracci 6b stessi. Come mostrato in figura 4, ciascuno dei campioni 6 presenta una prima e una seconda regione di indebolimento 9, 10. In particolare, in entrambi i campioni 6, la prima e la 10 seconda regione di indebolimento 9, 10 sono realizzate come restringimenti del piede 6a e, rispettivamente, di uno dei bracci 6b; inoltre, le regioni di indebolimento 9, 10 sono definite da intagli 11 con profilo circolare o poligonale, praticati in corrispondenza di una zona 15 di giunzione 6c fra il piede 6a e i bracci 6b e attraversanti il campione 6 in direzione parallela al terzo asse Z. Lo spessore dello strato conduttivo 5 di polisilicio, le dimensioni dei piedi 6a e dei bracci 6b dei campioni 6 e la conformazione delle regioni di 20 indebolimento 9, 10 determinano la resistenza meccanica alla rottura dei campioni 6 stessi. In particolare, intervenendo sulla forma e sulle dimensioni degli intagli 11 definienti la prima e la seconda regione di indebolimento 9, 10, è possibile ottenere prefissate 25 soglie di rottura dei campioni 6 lungo il primo, il

secondo e il terzo asse X, Y, Z; preferibilmente, tutte le soglie di rottura meccanica sono sostanzialmente uguali.

In seguito, uno strato sacrificale 12 di ossido di silicio viene deposto in modo da ricoprire lo strato di ossido di pad 3 e i campioni 6; in pratica, lo strato di ossido di pad 3 e lo strato sacrificale 12 formano un'unica regione sacrificale in cui sono annessati i campioni 6. Lo strato sacrificale 12 viene poi definito mediante un processo fotolitografico comprendente due fasi di mascheratura. Durante una prima fase, nello strato sacrificale 12 vengono realizzate prime aperture 14 scoprenti rispettive estremità dei piedi 6b dei campioni 6, come illustrato in figura 5. In una seconda fase del processo fotolitografico (figura 6), vengono selettivamente attaccati sia lo strato sacrificale 12, sia lo strato di ossido di pad 3, in modo da realizzare seconde aperture 15 scoprenti porzioni del substrato 2.

Successivamente, sopra la fetta 1 viene cresciuto uno strato epitassiale 16 conduttivo, avente spessore, ad esempio, di 15  $\mu\text{m}$  e drogaggio pari a  $10^{18}$  atomi/cm<sup>3</sup>. In dettaglio, lo strato epitassiale 16 ricopre interamente lo strato sacrificale 12 e, attraverso le prime e le seconde aperture 14, 15, si estende in profondità fino a raggiungere, rispettivamente, i

campioni 6 e il substrato 2 (figure 7 e 8).

Lo strato epitassiale 16 viene poi selettivamente attaccato, preferibilmente mediante attacco RIE ("Reactive Ion Etching"), e lo strato sacrificale 12 e 5 lo strato di ossido di pad 3 vengono rimossi. Più in dettaglio, durante la fase di attacco dello strato epitassiale 16, vengono formati una massa mobile 18; ancoraggi 19, realizzati sopra alle porzioni del substrato 2 precedentemente scoperte dalle seconde 10 aperture 15; una pluralità di molle 20, colleganti la massa mobile 18 agli ancoraggi 19; e una struttura di supporto 21 ad anello, che circonda la massa mobile 18, i campioni 6, le molle 20 e i relativi ancoraggi 19 (si veda la figura 9, in cui lo strato sacrificale 12 e lo 15 strato di ossido di pad 3 sono già stati asportati).

La massa mobile 18 è collegata al substrato 2 mediante le molle 20, che sono a loro volta vincolate agli ancoraggi 19 (figura 11). Le molle 20, di per sé note, sono conformate in modo da permettere 20 oscillazioni della massa mobile 18 rispetto al substrato 2 lungo ciascuno dei tre assi X, Y, Z, impedendo però rotazioni. La massa mobile 18 è inoltre vincolata al substrato 2 mediante i campioni 6. Più in dettaglio, la massa mobile 18 presenta, in una porzione 25 mediana, una coppia di blocchi di ancoraggio 22,

proiettantisì verso l'esterno in direzioni opposte lungo il secondo asse Y. I blocchi di ancoraggio 22 sono collegati all'estremità del piede 6a di un rispettivo dei campioni 6, come mostrato in figura 10.

5 A loro volta, i campioni 6 sono ancorati al substrato 2 tramite le piazzole di ancoraggio 8. Controllando la durata dell'attacco dello strato sacrificale 12 e dello strato di ossido di pad 3, l'ossido di silicio viene infatti rimosso solo parzialmente al di sotto delle 10 piazzole di ancoraggio 8, che sono più larghe rispetto ai piedi 6a e ai bracci 6b dei campioni 6; in questo modo, porzioni residue 3' dello strato di ossido di pad 3, che non vengono attaccate, fissano le piazzole di ancoraggio 8 al substrato 2, fungendo da elementi di 15 incollaggio.

Lo strato sacrificale 12 e le restanti porzioni dello strato di ossido di pad 3 vengono invece completamente asportate e, quindi, la massa mobile 18 e i campioni 6 vengono liberati. In pratica, la massa 20 mobile 18 è sospesa a distanza sul substrato 2 e può oscillare attorno a una posizione di riposo, in accordo con i gradi di libertà concessi dalle molle 20 (in particolare, può traslare lungo gli assi X, Y e Z). Anche i campioni 6 sono elementi elastici che collegano 25 la massa mobile 18 al substrato 2, analogamente alle

molle 20. In particolare, i campioni sono conformati in modo da essere sottoposti a sforzo, quando la massa mobile 18 si trova al di fuori di una posizione relativa di riposo rispetto al substrato 2; i campioni 5 6 sono però molto sottili e presentano punti preferenziali di rottura in corrispondenza delle regioni di indebolimento 9, 10. Per questa ragione, la loro resistenza meccanica alla rottura è molto inferiore a quella delle molle 20 e si rompono in modo 10 controllato quando sono sottoposti a uno sforzo di prefissata intensità.

In pratica, a questo punto del procedimento, la massa mobile 18, il substrato 2, le molle 20 con gli ancoraggi 19 e i campioni 6 formano un sensore 15 inerziale 24, il cui funzionamento verrà descritto in dettaglio più avanti.

Una struttura di incapsulamento 25 del sensore inerziale 24 viene poi applicata al di sopra della fetta 1, formando una fetta composita 26 (figura 12). 20 In particolare, la struttura di incapsulamento 25 è un'ulteriore fetta semiconduttrice, nella quale è stato preventivamente ricavato un recesso 27, in una regione destinata a essere sovrapposta alla massa mobile 18. La struttura di incapsulamento 25 viene accoppiata alla 25 struttura di supporto 21 ad anello, mediante

l'interposizione di uno strato di saldatura 29. Quindi, la fetta composta 26 viene tagliata in una pluralità di "dice" 30, ciascuno comprendente un sensore inerziale 24 e un rispettivo cappuccio protettivo 31, formato dal 5 frazionamento della struttura di incapsulamento 25 (figura 13).

Il "die" 30 viene infine montato su un dispositivo 32, ad esempio un telefono cellulare; preferibilmente, il dispositivo 32 è provvisto di un involucro 33, 10 all'interno del quale il "die" 30 viene fissato, come mostrato in figura 14. Inoltre (figura 15), il sensore inerziale 24 è collegato a terminali di un circuito di test 35, che misura il valore di resistenza elettrica fra tali terminali. Più in dettaglio, le piazzole 8 dei 15 bracci 6b in cui sono formate le seconde regioni di indebolimento 10 sono collegate ciascuna a un rispettivo terminale del circuito di test 35.

In condizioni normali, ossia quando il sensore inerziale 24 è integro, i campioni 6 e la massa mobile 20 18 formano un percorso conduttivo che permette il passaggio di corrente fra una coppia qualsiasi di piazzole di ancoraggio 8. In pratica, il circuito di test 35 rileva bassi valori di resistenza elettrica fra le piazzole di ancoraggio 8 a cui è collegato. Durante 25 il normale utilizzo, il dispositivo 32 subisce modeste

sollecitazioni, che causano lievi oscillazioni della massa mobile 18 attorno alla posizione di risposo, senza compromettere l'integrità del sensore inerziale 24.

5 Quando il dispositivo 32 subisce un urto, la massa mobile 18 del sensore inerziale 24 viene bruscamente accelerata e sottopone a uno sforzo i campioni 6 e le molle 20. A seconda dell'intensità della sollecitazione trasmessa al sensore inerziale 24, tale sforzo può 10 superare una delle soglie di rottura meccanica dei campioni 6, che quindi si spezzano. In particolare, la rottura si verifica in corrispondenza di una delle regioni di indebolimento 9, 10, che hanno la resistenza meccanica minima. In entrambi i casi, viene interrotto 15 il percorso conduttivo fra le due piazzole 8 collegate al circuito di test 35, che quindi rileva un valore di resistenza elettrica elevato fra i propri terminali, permettendo così di riconoscere il verificarsi di eventi in grado di danneggiare il dispositivo 32.

20 Secondo una variante della forma di realizzazione descritta, a cui si riferisce la figura 16, vengono realizzati campioni 37 a T presentanti un'unica regione di indebolimento 38; in particolare, la regione di indebolimento 38 è un restringimento definito da una 25 coppia di intagli 39 obliqui rispetto a un piede 37a e

a bracci 37b dei campioni 37.

Secondo un'ulteriore variante, mostrata nelle figure 17 e 18, i due campioni 6 a T sono collocati in un'intercapedine 36 fra il substrato 2 e la massa mobile 18 e hanno le estremità dei rispettivi piedi 6a a reciproco contatto. Inoltre, entrambi i campioni 6 sono fissati a un unico blocco di ancoraggio 22' disposto centralmente rispetto alla massa mobile 18 stessa.

Da quanto sopra discusso, è chiaro che l'invenzione presenta diversi vantaggi. In primo luogo, il sensore inerziale descritto ha ingombro contenuto. Generalmente, infatti, l'ingombro maggiore di un sensore inerziale è dovuto alla massa mobile, che deve assicurare la precisione e la sensibilità richieste. In questo caso, è sufficiente che, a fronte di una prefissata accelerazione, la massa mobile causi la rottura delle regioni di indebolimento dei campioni, che hanno resistenza meccanica molto bassa; è quindi evidente che anche la massa mobile può essere di dimensioni ridotte. Inoltre, la soglia di rottura dei campioni può essere agevolmente controllata tramite il dimensionamento delle regioni di indebolimento. Rispetto ai sensori inerziali di tipo capacitivo, poi, è richiesto un numero di elettrodi molto più basso e

quindi l'ingombro può essere ulteriormente ridotto.

Il sensore inerziale secondo l'invenzione può poi essere fabbricato con un procedimento semplice, con resa elevata e quindi a bassissimo costo. Infatti, 5 vengono impiegate fasi standard della microelettronica, quali fasi di deposizione di strati di materiale sia isolante, sia conduttivo, processi fotolitografici, una fase di crescita epitassiale e fasi standard di attacco del silicio epitassiale e degli strati isolanti; 10 vantaggiosamente, viene eseguita una sola fase di ossidazione termica e quindi la fetta alloggiante il sensore viene sottoposta a modeste sollecitazioni durante la fabbricazione. Inoltre, il sensore inerziale viene realizzato a partire da un substrato standard, 15 poco costoso.

Di conseguenza, sensori del tipo descritto sono particolarmente adatti a essere impiegati nei casi in cui, più della precisione, sono richiesti ingombro ridotto e costo contenuto, ad esempio, quando è 20 necessario registrare l'intervento di sollecitazioni dannose per un dispositivo, ma è superfluo fornire misure puntuali delle accelerazioni. In particolare, essi possono essere vantaggiosamente impiegati per verificare la validità della garanzia nel caso di 25 dispositivi elettronici di uso comune, quali, ad

esempio, i telefoni cellulari.

L'utilizzo di un unico punto di ancoraggio fra i campioni e la massa mobile, come illustrato nella seconda variante di figura 17 e 18, ha un ulteriore vantaggio rispetto a quelli già evidenziati, perché permette di rilasciare più efficacemente gli stress dovuti a dilatazione dei materiali. In particolare, può accadere che le parti di polisilicio anche solo parzialmente annegate nell'ossido di silicio (provini e porzioni dello strato epitassiale) siano sottoposte a compressione, in quanto, durante la fabbricazione, sia il polisilicio, sia l'ossido tendono a dilatarsi in direzioni opposte. Quando l'ossido viene rimosso, viene eliminata l'azione di compressione sul polisilicio, che quindi può espandersi. Chiaramente, la dilatazione maggiore in termini assoluti è quella della massa mobile, che ha dimensioni maggiori. L'impiego di un unico punto di ancoraggio al posto di due ancoraggi distanziati permette di rilasciare in modo più efficace gli stress dovuti a tale espansione, in quanto la massa mobile può dilatarsi liberamente, senza modificare la situazione di carico dei campioni.

I sensori inerziali illustrati sono ulteriormente vantaggiosi perché rispondono in modo sostanzialmente isotropo alle sollecitazioni meccaniche. In pratica,

quindi un solo sensore inerziale è sufficiente a rilevare forze agenti lungo qualsiasi direzione.

Una seconda forma di realizzazione dell'invenzione è illustrata nelle figure 18 e 19, in cui parti uguali 5 a quelle già mostrate sono indicate con gli stessi numeri di riferimento. Secondo tale forma di realizzazione, un sensore inerziale 40 è dotato di campioni 41 conformati a L; come nel caso precedente, i campioni 41 vengono realizzati sagomando uno strato 10 conduttivo di polisilicio deposto al di sopra di uno strato di ossido di pad (qui non mostrato), che è stato a sua volta cresciuto su un substrato 42 di una fetta semiconduttrice 43. Mediante fasi di processo analoghe a quelle già descritte, vengono successivamente 15 realizzati la massa mobile 18, gli ancoraggi 19 e le molle 20.

In dettaglio, i campioni 41 hanno prime estremità 20 collegate a rispettivi blocchi di ancoraggio 22 della massa mobile 18; e seconde estremità terminanti con rispettive piazzole di ancoraggio 41, fissate al substrato 2 come spiegato in precedenza. Inoltre, intagli 42 praticati in corrispondenza di rispettivi vertici 43 dei campioni 41 definiscono regioni di indebolimento 44 dei campioni 40 stessi.

25 Le figure 21 e 22 illustrano una terza forma di

attuazione dell'invenzione, secondo la quale un sensore  
inerziale 50, realizzato su un substrato 54, comprende  
campioni 51 sostanzialmente rettilinei e paralleli al  
primo asse X. In questo caso, durante la fase di  
5 attacco RIE, oltre alla massa mobile 18, vengono  
realizzati due ancoraggi 52 e due molle 53, ei tipo  
noto, colleganti la massa mobile 18 agli ancoraggi 52 e  
conformate in modo da impedire sostanzialmente la  
rotazione della massa mobile 18 stessa attorno al primo  
10 asse X.

I campioni 51 hanno prime estremità saldate a  
rispettivi blocchi di ancoraggio 22 della massa mobile  
18 e seconde estremità terminanti con piazzole di  
ancoraggio 55, realizzate come descritto in precedenza.  
15 Inoltre, coppie di opposti intagli 57 trasversali  
definiscono rispettive regioni di indebolimento 58  
lungo i campioni 51 (figura 22).

Il sensore inerziale 50 risponde preferenzialmente  
a sollecitazioni orientate secondo un piano ortogonale  
20 ai campioni 51, ossia il piano individuato dal secondo  
asse Y e dal terzo asse Z. In questo caso, per rilevare  
sollecitazioni in modo sostanzialmente isotropo, è  
possibile utilizzare due sensori 50 collegati in serie  
fra i terminali di un circuito di test 59 e ruotati di  
25 90° l'uno rispetto all'altro, come mostrato in figura

23.

Le figure 24-28 mostrano fasi di fabbricazione di un sensore inerziale 80 realizzato secondo una quarta forma di attuazione dell'invenzione e comprendente un substrato 61 di una fetta semiconduttrice 60, una massa mobile 71 e un campione 63, oltre che ancoraggi 72 e molle 73. Inizialmente, al di sopra del substrato 61, viene cresciuto uno strato di ossido di pad 62; quindi, uno strato conduttivo 63 di silicio policristallino (qui indicato con linea a tratteggio) viene deposto sullo strato di ossido di pad 61 e viene definito in modo da formare il campione 64, che è sostanzialmente rettilineo e si estende parallelamente al primo asse X (figura 25). Il campione 64 ha una piazzola di ancoraggio 65, ad una propria estremità, e presenta centralmente una regione di indebolimento 66 definita da una coppia di intagli 67.

Uno strato sacrificale 69 di ossido di silicio viene deposto in modo da ricoprire l'intera fetta 60 e poi selettivamente asportato per formare un'apertura 68 in corrispondenza di un'estremità del campione 64 opposta alla piazzola di ancoraggio 65.

Viene quindi cresciuto uno strato epitassiale 70 (figura 26), che viene attaccato in modo da formare la massa mobile 71, gli ancoraggi 72, le molle 73 e un

anello di supporto, per comodità non mostrato; lo strato sacrificale 69 e lo strato di ossido di pad 62 vengono rimossi, ad eccezione di una porzione residua 62' dello strato di ossido di pad 62 sottostante la 5 piazzola di ancoraggio 65 (figure 27 e 28). La massa mobile 71 e il campione vengono così liberati. Più precisamente, la massa mobile 71, avente centralmente un'apertura passante 74 al di sopra del campione 64, è vincolata al substrato 61 attraverso gli ancoraggi 72 e 10 le molle 73, che sono conformate in modo da impedire traslazioni e rotazioni secondo il primo asse X. Inoltre, il campione 65 ha opposte estremità rispettivamente collegate al substrato 2, attraverso la piazzola di ancoraggio 65, e alla massa mobile 71 ed è 15 disposto in un'intercapedine 76 compresa fra la massa mobile 71 e il substrato 61.

Il sensore inerziale 80 viene poi incapsulato mediante fasi analoghe a quelle descritte con riferimento alle figure 12 e 13.

20 Anche in questo caso, l'utilizzo di un unico punto di ancoraggio fra il campione e la massa mobile permette vantaggiosamente di rilasciare in modo efficace gli stress dovuti a dilatazione della massa mobile.

25 Secondo una variante non illustrata, il campione è

conformato a T, come quelli mostrati in figura 9.

La figura 29 mostra un particolare di un campione 81, ad esempio rettilineo, di un sensore inerziale realizzato secondo una quinta forma di attuazione 5 dell'invenzione. In particolare, il campione 81 presenta una regione di indebolimento definita da una scanalatura trasversale 82 estendentesi fra lati opposti 83 del campione 81 stesso.

La scanalatura 82 viene realizzata mediante 10 attacco mascherato a durata controllata del campione 81 (figura 30).

In alternativa (figura 31), viene deposto e definito un primo strato 85 di polisilicio; vengono poi formati uno strato di arresto 86 di ossido di silicio e 15 un secondo strato 87 di polisilicio; infine viene scavata una scanalatura 82' attaccando il secondo strato 87 di polisilicio fino allo strato di arresto 86.

Risulta infine evidente che al sensore inerziale 20 descritto possono essere apportate modifiche e varianti, senza uscire dall'ambito della presente invenzione. In particolare, le regioni di indebolimento possono essere definite contemporaneamente da intagli laterali dei campioni e da scanalature estendentesi fra 25 gli intagli laterali. Inoltre, le regioni di

indebolimento possono essere definite da aperture passanti attraversanti i campioni anziché da intagli laterali.

## RIVENDICAZIONI

1. Sensore inerziale con soglia di rottura, comprendente:

un primo corpo (2; 42; 54; 61) e un secondo corpo  
5 (18; 71) fra loro relativamente mobili e vincolati mediante una pluralità di elementi elastici (20; 53; 73);

10 almeno un elemento campione (6; 37; 40; 51; 64; 81; 81') collegato fra detto primo corpo (2; 42; 54; 61) e detto secondo corpo (18; 71) e conformato in modo da essere sottoposto a sforzo quando detto secondo corpo (18; 71) è al di fuori di una posizione relativa di riposo rispetto a detto primo corpo (2; 42; 54; 61);

15 caratterizzato dal fatto che detto elemento campione (6; 37; 40; 51; 64; 81; 81') comprende almeno una regione di indebolimento (9, 10; 38; 44; 58; 66; 82; 82').

20 2. Sensore secondo la rivendicazione 1,  
caratterizzato dal fatto che detta regione di indebolimento (9, 10; 38; 44; 58; 66; 82; 82') comprende un restringimento di detto elemento campione (6; 37; 40; 51; 64; 81; 81').

25 3. Sensore secondo la rivendicazione 1 o 2,  
caratterizzato dal fatto che detta regione di indebolimento (9, 10; 38; 44; 58; 66) è definita da

intagli (11; 39; 42; 57; 67) praticati su detto elemento campione (6; 37; 40; 51; 64).

4. Sensore secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detta regione di 5 indebolimento (9, 10; 38; 44; 58; 66) è definita da coppie di opposti intagli laterali (11; 39; 42; 57; 67).

5. Sensore secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto che detta regione di 10 indebolimento (82; 82') comprende una scanalatura estendentesi trasversalmente fra opposti bordi (83) di detto elemento campione (81; 81').

6. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che 15 detto elemento campione (64) è disposto in un'intercapedine (76) compresa fra detti primo e secondo corpo (18; 71).

7. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di 20 comprendere almeno due elementi campione (6; 37; 40; 51).

8. Sensore secondo la rivendicazione 7 caratterizzato dal fatto che ciascuno di detti elementi campione (6; 37; 40; 51) comprende almeno una 25 rispettiva detta regione di indebolimento (9, 10; 38;

44; 58).

9. Sensore secondo la rivendicazione 7 o 8, caratterizzato dal fatto che detti elementi campione (6; 37; 40; 51) si estendono lateralmente da detto 5 secondo corpo (18; 71) in direzioni opposte.

10. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 7-9, caratterizzato dal fatto che detti elementi campione (6) sono sostanzialmente conformati a T.

11. Sensore secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detti elementi campione (6) comprendono rispettivi primi tratti (6a), allineati e rivolti l'uno verso l'altro, e rispettivi secondi tratti (6b), sostanzialmente perpendicolari a detti 15 primi tratti (6a) e fra loro paralleli.

12. Sensore secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che ciascuno di detti elementi campione (6) comprende almeno due regioni di indebolimento (9, 10), definite da restringimenti di 20 detti primi tratti (6a) e, rispettivamente, di detti secondi tratti (6b).

13. Sensore secondo la rivendicazione 11 o 12, caratterizzato dal fatto che estremità di detti primi tratti (6a) sono collegate a detto secondo corpo (18) e 25 opposte estremità di detti secondi tratti (6b) sono

fissate a detto primo corpo (2).

14. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 7-9, caratterizzato dal fatto che detti elementi campione (40) sono conformati a L.

5 15. Sensore secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che dette regioni di indebolimento (44) sono realizzate in corrispondenza di rispettivi vertici (43) di detti elementi campione.

16. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detto almeno un elemento campione (51; 64) ha forma sostanzialmente rettilinea.

17. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detto almeno un elemento campione (6; 40; 51; 64) presenta a una propria estremità almeno una piazzola di ancoraggio (8; 41; 55; 65) fissata a detto primo corpo (2; 42; 54; 61) mediante un elemento di incollaggio (3'; 62').

20 18. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che primo e secondo corpo (18; 71) e detto almeno un elemento campione (6; 37; 40; 51; 64; 81; 81') sono conduttrivi.

RIASSUNTO

Un sensore inerziale con soglia di rottura, include: un primo corpo (2) e un secondo corpo (18) fra loro relativamente mobili e vincolati mediante una pluralità di elementi elastici; e almeno un elemento campione (6) collegato fra il primo corpo (2) e il secondo corpo (18) e conformato in modo da essere sottoposto a sforzo quando il secondo corpo (18) è al di fuori di una posizione relativa di riposo rispetto al primo corpo (2). L'elemento campione (6) ha almeno una regione di indebolimento (9, 10).

15 Figg. 9

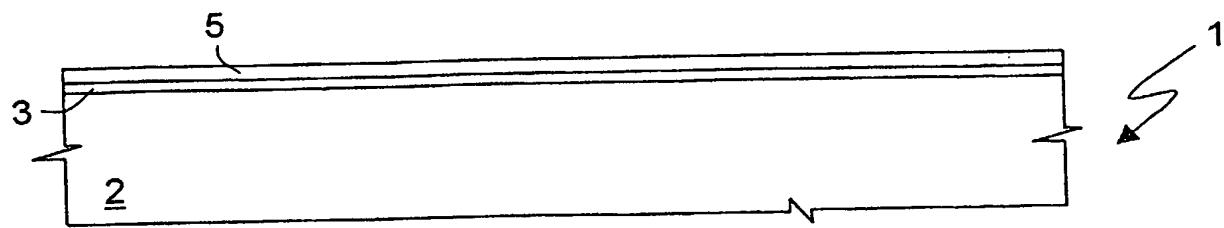


Fig. 1

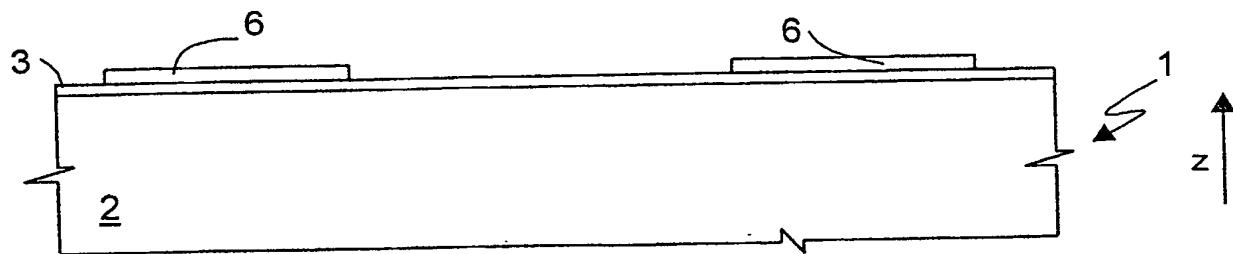


Fig. 2

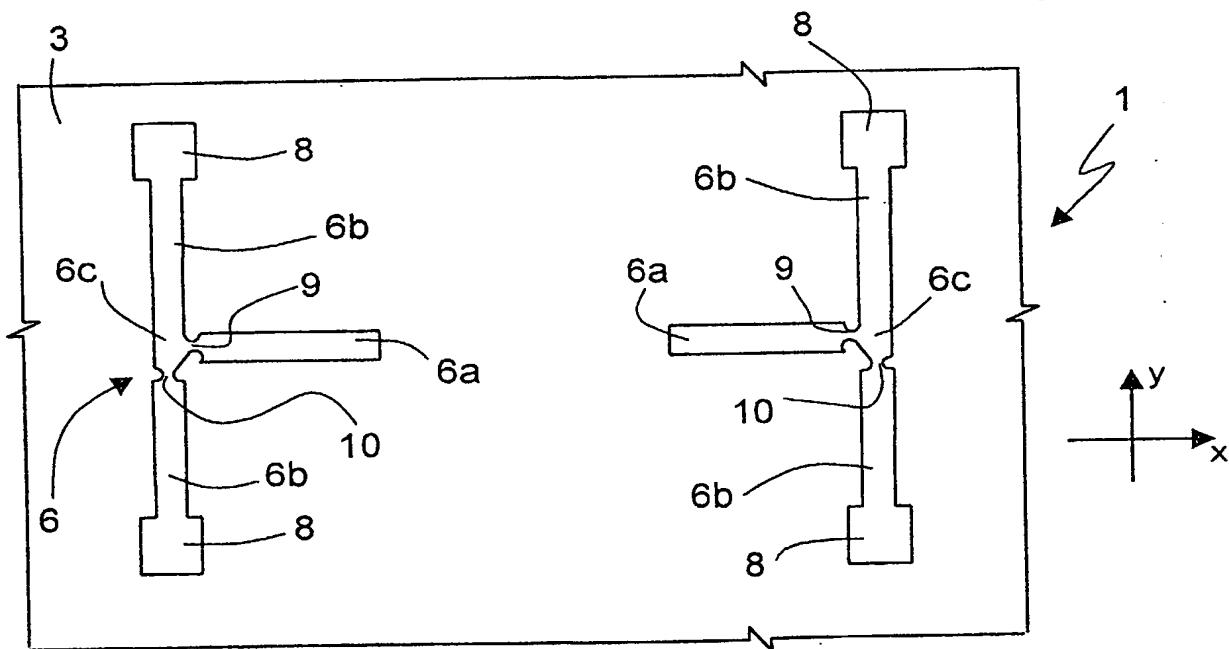


Fig. 3

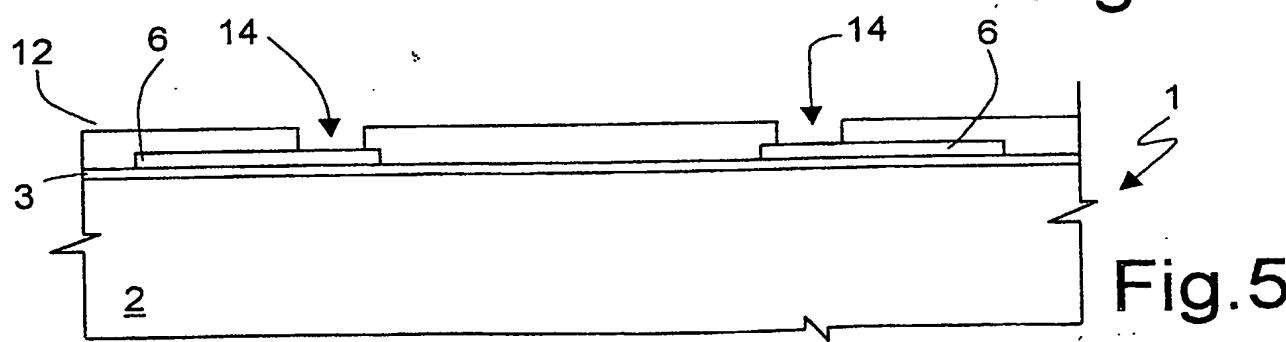


Fig. 5

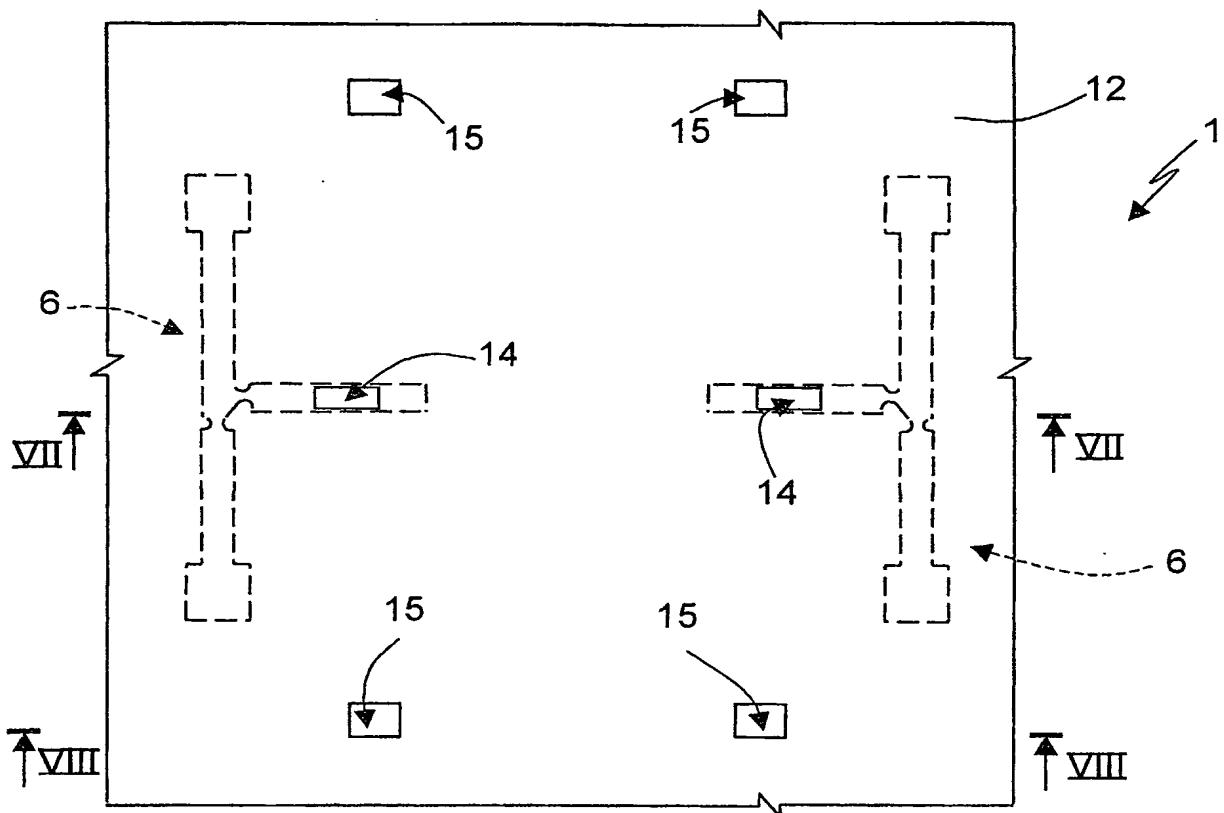


Fig. 6

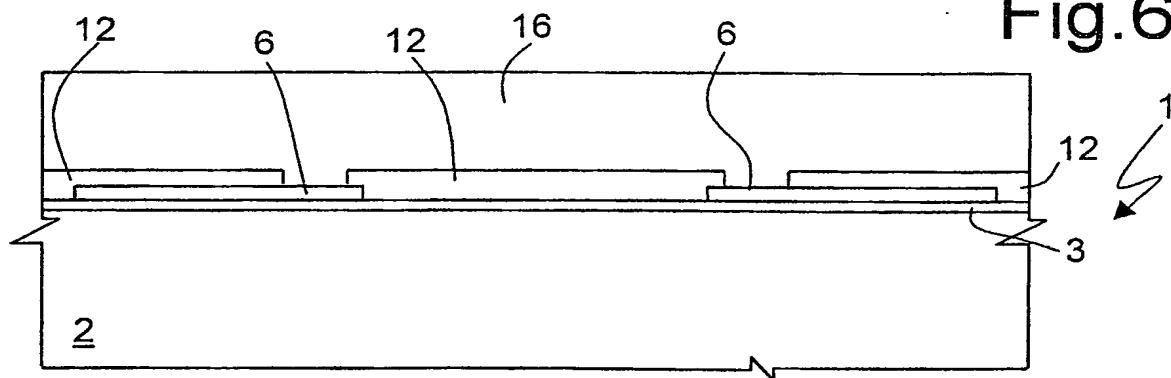


Fig. 7

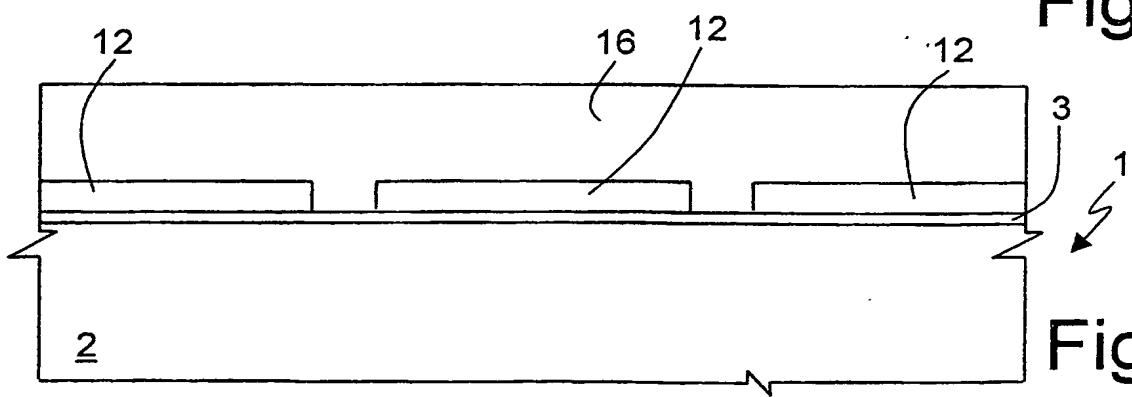


Fig. 8

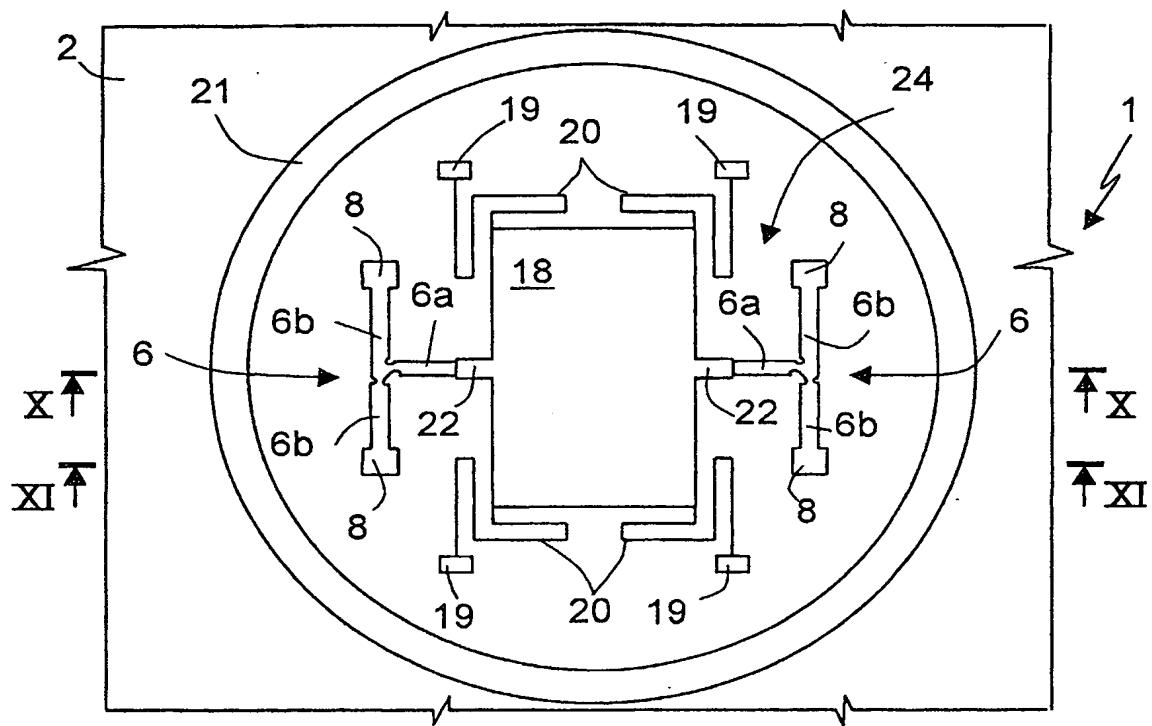


Fig. 9

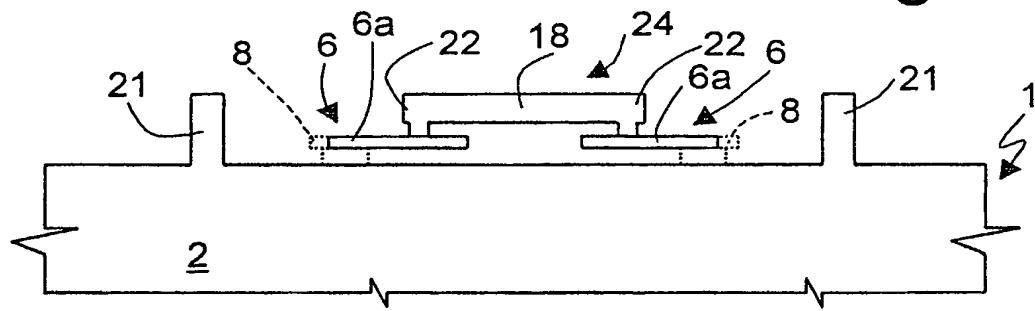


Fig. 10

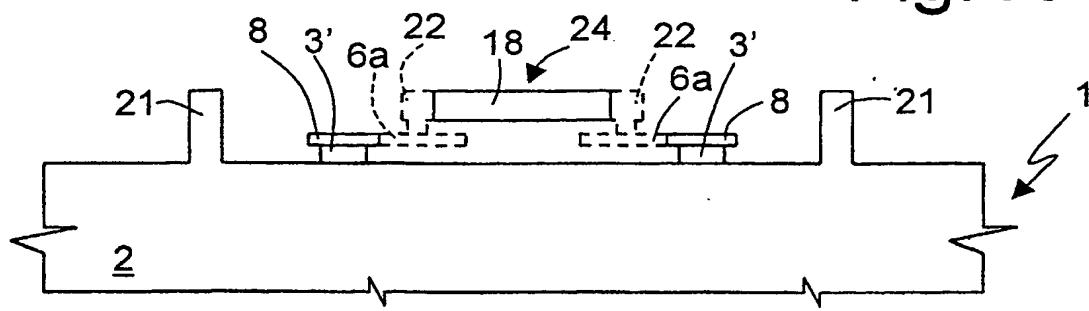


Fig. 11

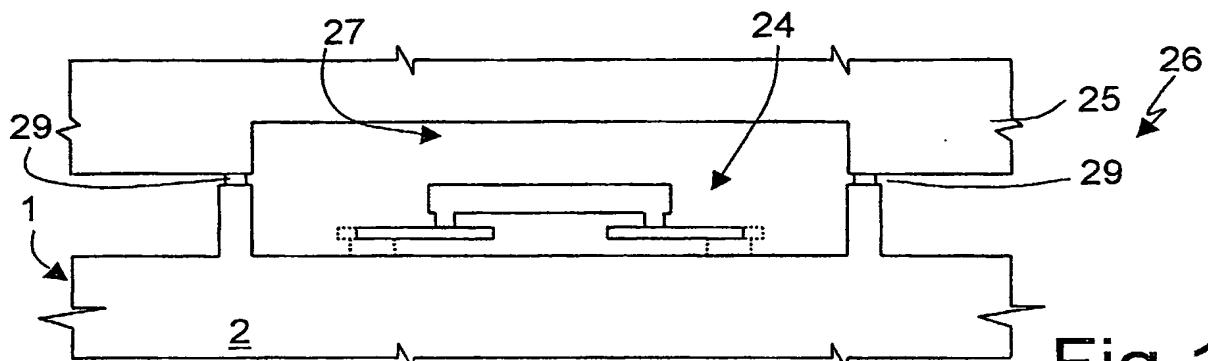


Fig. 12

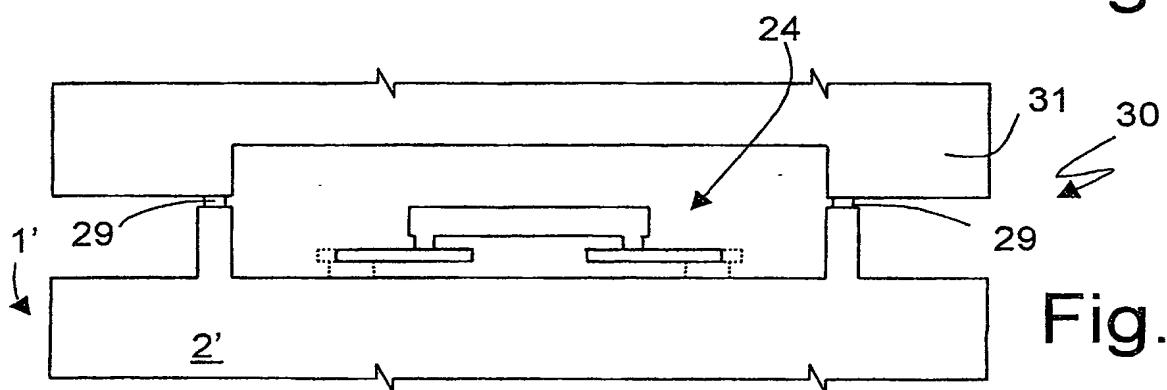


Fig. 13

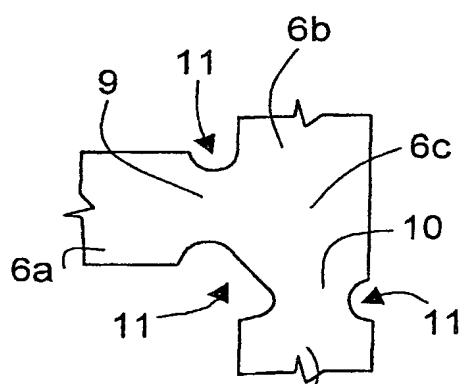


Fig. 4

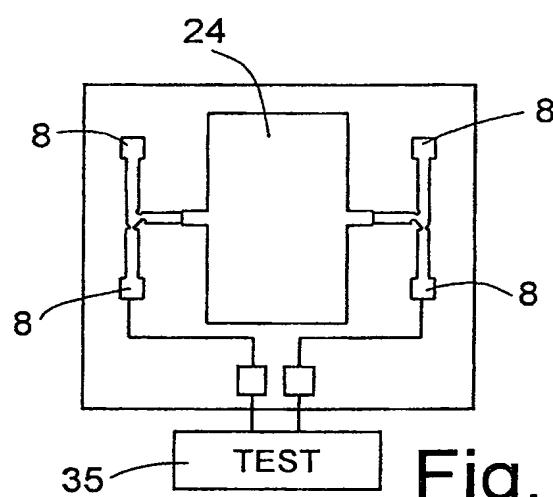


Fig. 15

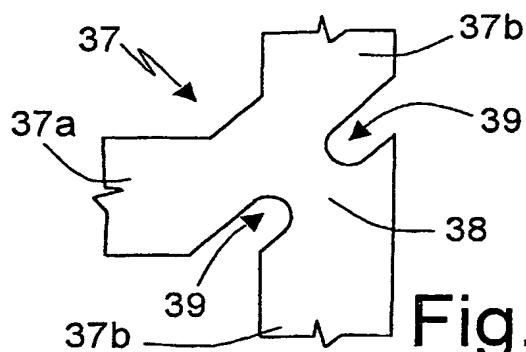


Fig. 16

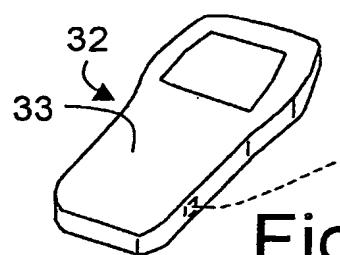


Fig. 14

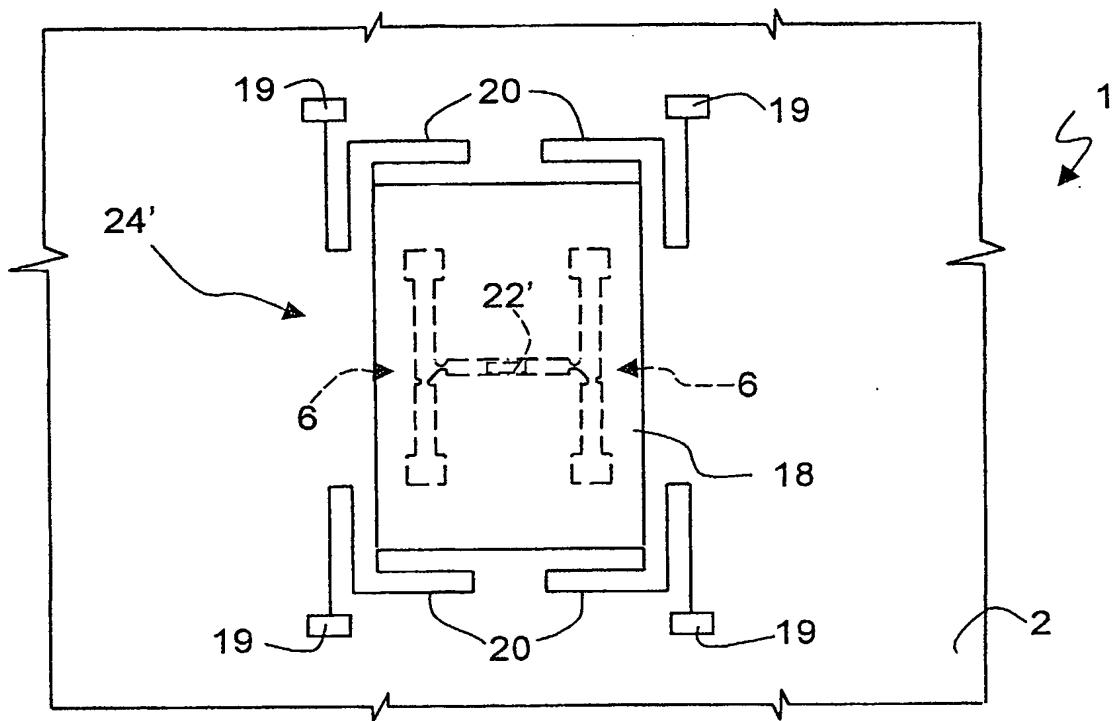


Fig. 17

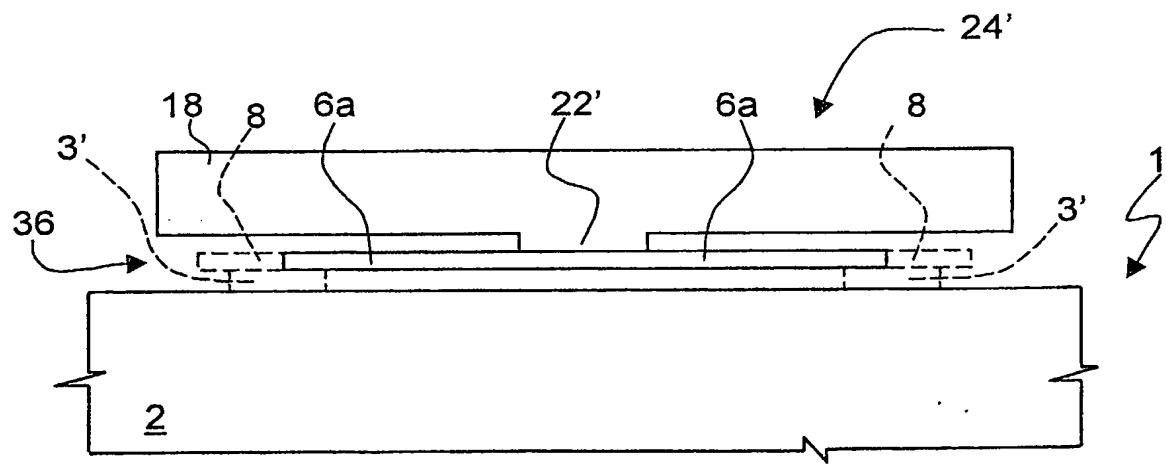


Fig. 18

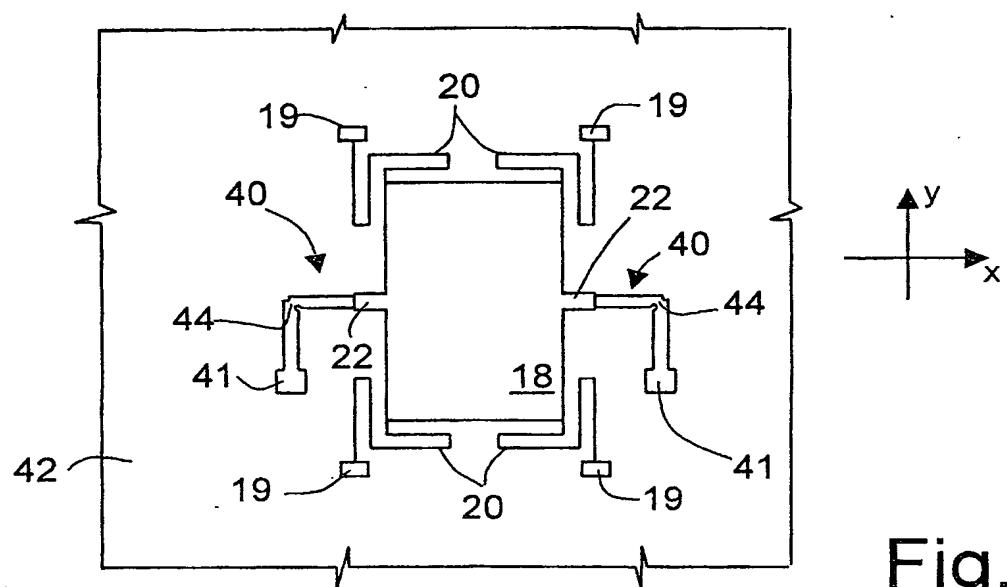


Fig. 19

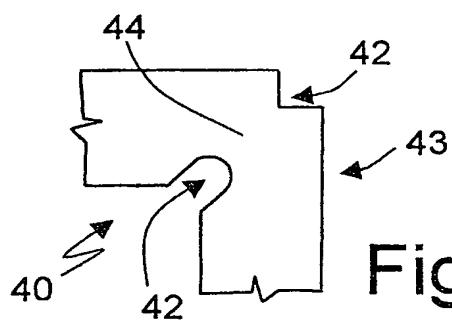


Fig. 20

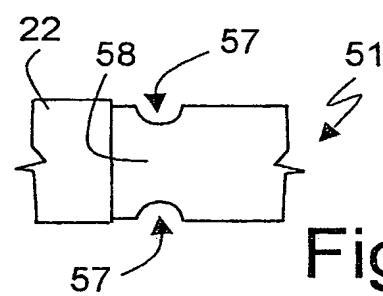


Fig. 22

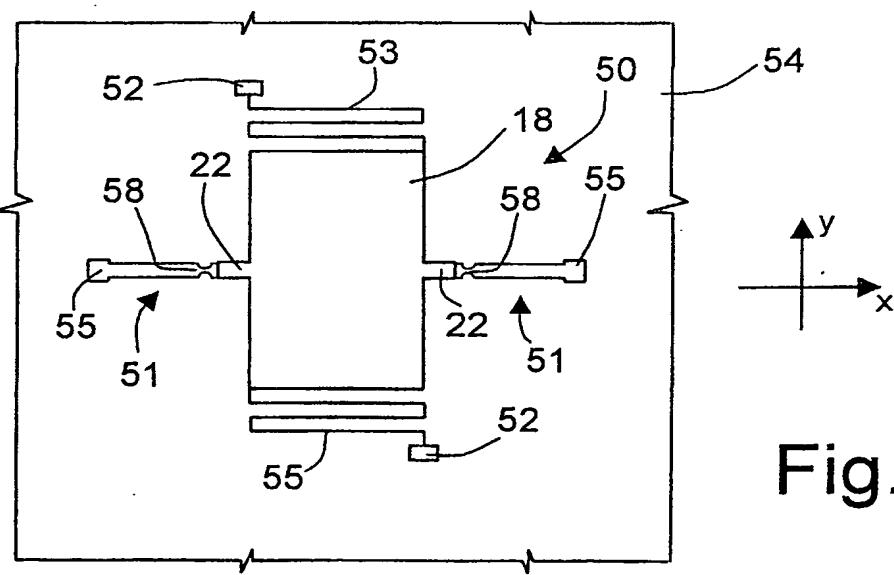


Fig. 21

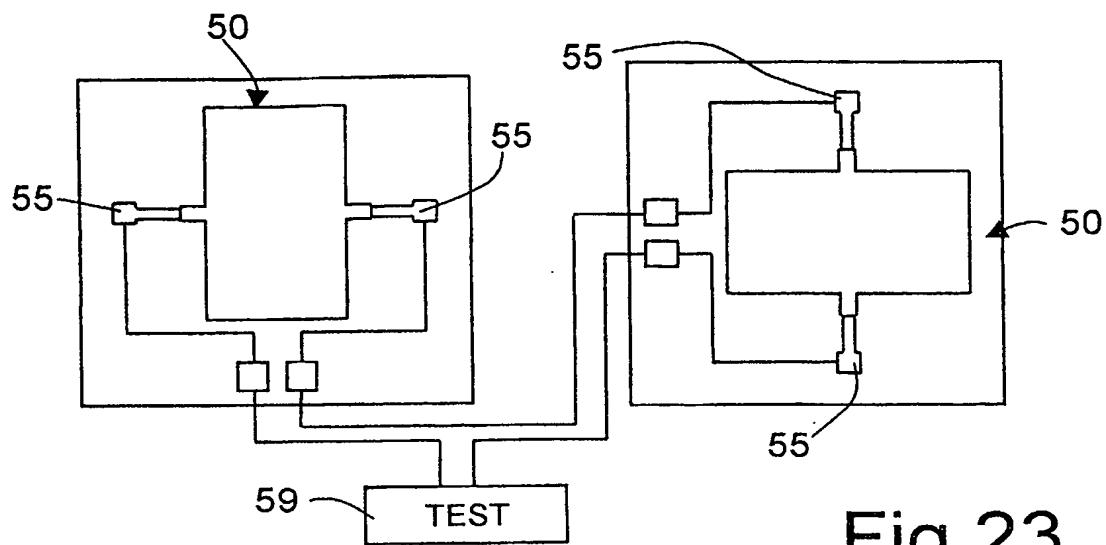


Fig. 23

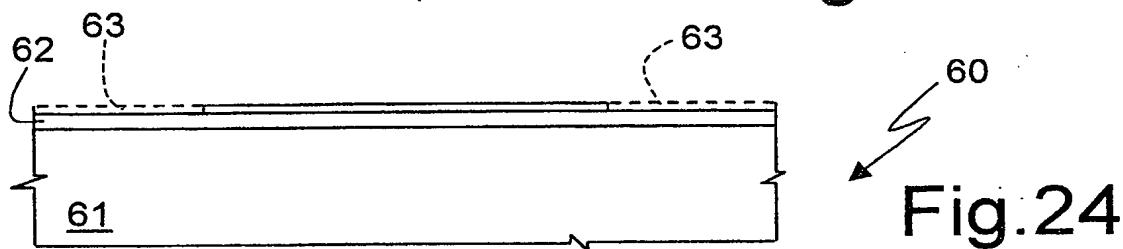


Fig. 24

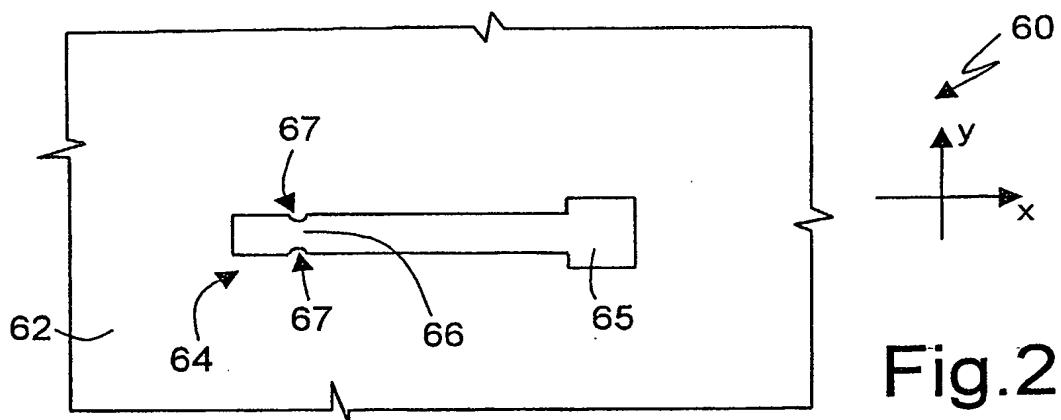


Fig. 25

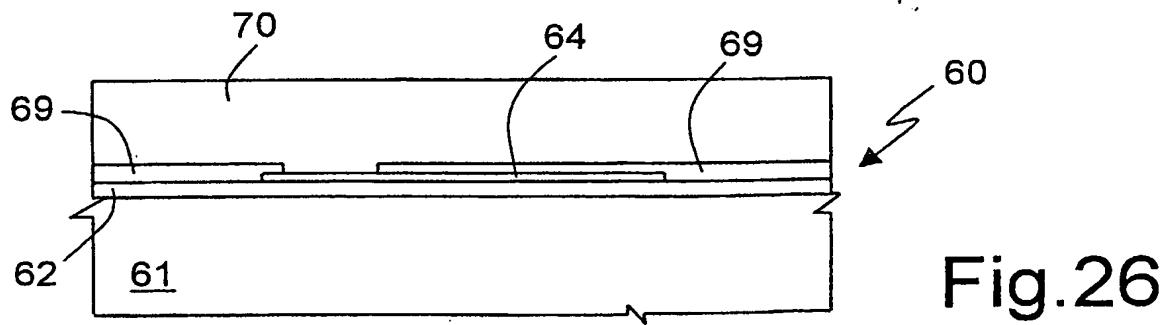


Fig. 26

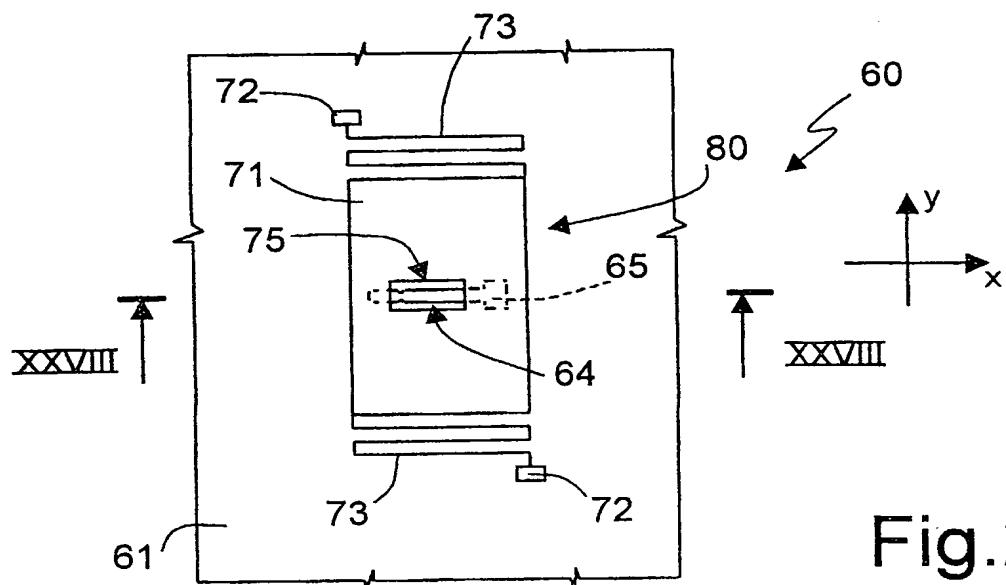


Fig.27

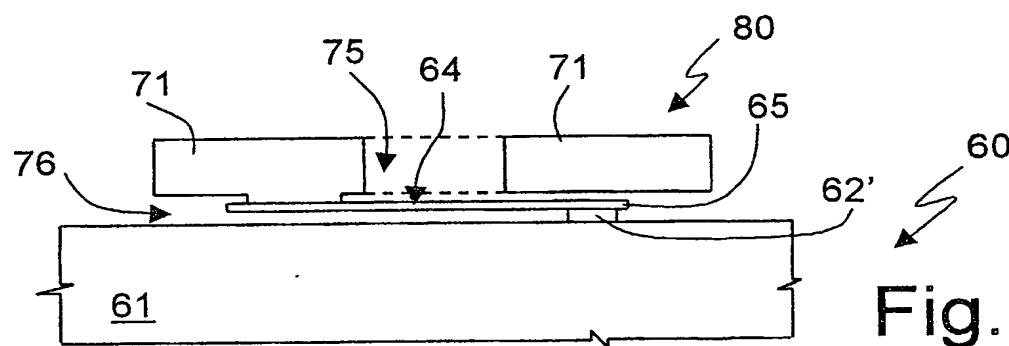


Fig.28

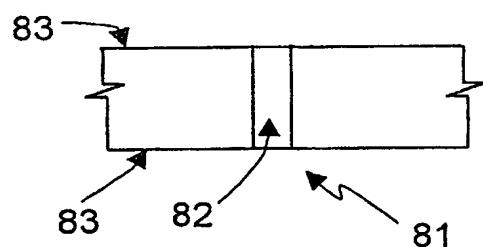


Fig.29

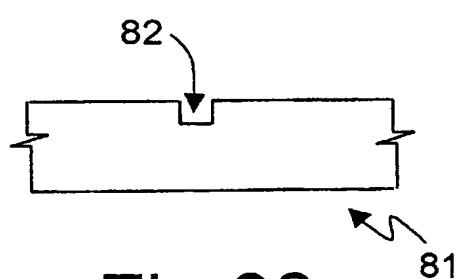


Fig.30

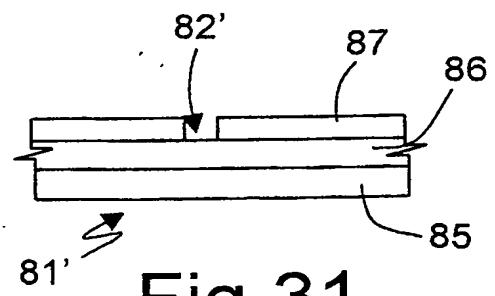


Fig.31